

Для графического определения малосигнальной полосы пропускания необходимо (рис. 3.18):

1. На оси ординат (K) отложить требуемое значение коэффициента усиления по напряжению с обратной связью $K_{oc} = 1000$.
2. Провести из этой точки прямую 1 (идеальную зависимость $K_{oc}(f) = R_{oc}/R_{вх}$) до пересечения с АЧХ разомкнутого операционного усилителя 2.
3. Частота ($f = 1000$ Гц), соответствующая точке пересечения линий 1 и 2, является малосигнальной полосой пропускания ОУ с заданным $K_{oc} = 1000$.

Из графика (рис. 3.18) видно, что коэффициент усиления с обратной связью на частоте f_v равен $K_{oc} = 0.707 \cdot 1000 \approx 700$. На частотах, превышающих f_v , K_{oc} определяется только характеристикой ОУ, а не значениями сопротивлений R_{oc} и $R_{вх}$.

Коэффициент усиления на малом сигнале и ПП связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью. При увеличении K_{oc} , например, в 10 раз, полоса пропускания уменьшается во столько же раз.

Можно заметить, что произведение коэффициента усиления с ОС на ПП на малом сигнале всегда равно полосе единичного усиления B . Поэтому полосу единичного усиления называют также *произведением усиления на полосу пропускания*, и она служит показателем качества ОУ.

3.6. Скорость нарастания выходного напряжения

Скорость нарастания (СН) выходного напряжения зависит от многих факторов, и прежде всего от:

1. Коэффициента усиления усилителя.
2. Наличия и величины ёмкости корректирующего конденсатора.
3. Направления изменения выходного напряжения.

При единичном усилении скорость изменения выходного напряжения минимальна. Поэтому скорость нарастания указывается в спецификации на ОУ для $K_{oc} = 1$.

Внутри ОУ или вне его всегда есть, по крайней мере, один конденсатор для предотвращения автоколебаний на высоких частотах, рис. 3.20. Величина тока I , протекающего через

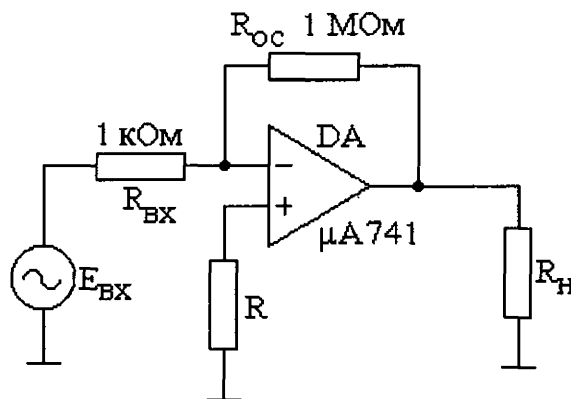


Рис. 3.19. Инвертирующий усилитель

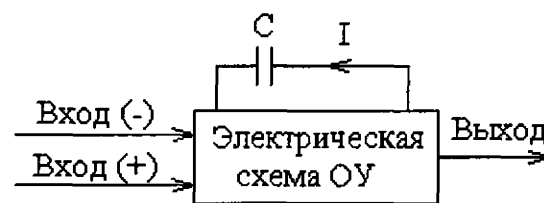


Рис. 3.20. Коррекция АЧХ ОУ

корректирующий конденсатор C определяется как емкостью этого конденсатора, так и электрической схемой ОУ. Отношение максимального тока I к емкости корректирующего конденсатора C является максимальной скоростью нарастания:

$$CH = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{t} = \frac{I}{C} = \left[\frac{\text{В}}{\text{с}} \right].$$

Операционный усилитель $\mu\text{A}741$ способен отдавать в свою корректирующую цепь ток $I = 15 \text{ мкА}$ при емкости корректирующего конденсатора $C = 30 \text{ пФ}$. Скорость нарастания данного ОУ $CH = 15 \text{ мкА} / 30 \text{ пФ} = 0,5 \text{ В/мкс}$.

Очевидно, что для увеличения скорости нарастания необходимо либо увеличить I , либо уменьшить C . Например, ОУ $\text{AD}518$ имеет $CH = 8 \text{ В/мкс}$ при $I = 400 \text{ мкА}$ и $C = 50 \text{ пФ}$.

Если подать на вход повторителя напряжения гармонический сигнал (рис. 3.21), максимальная скорость изменения которого превышает максимальную скорость нарастания ОУ, выходное напряжение будет искажено, рис. 3.22.

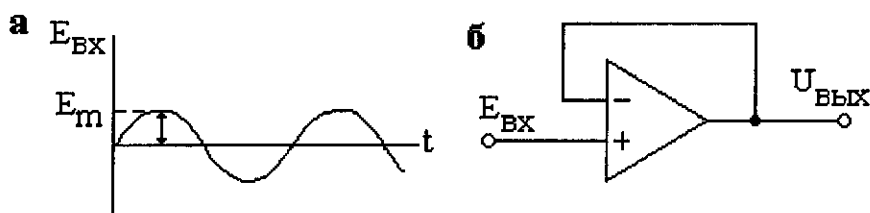


Рис. 3.21. Подача на вход ОУ с единичным коэффициентом усиления гармонического сигнала $E_{\text{ВХ}}$:

а – входное напряжение;

б – повторитель напряжения на ОУ

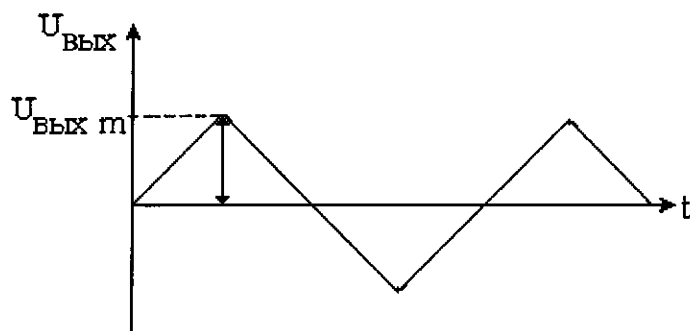


Рис. 3.22. Искажение гармонического сигнала, обусловленное ограниченной CH ОУ

Максимальная скорость изменения входного напряжения $E_{\text{ВХ}}$ равна $2\pi f E_m$. Определить максимальную частоту, при которой выходное напряжение не искажается, можно в соответствии со следующим выражением:

$$f_{\text{MAX}} = \frac{СН}{6,28 \cdot U_{\text{ВЫХ м}}},$$

где f_{max} – максимальная частота, при которой выходное напряжение не искажено;

СН – скорость нарастания ОУ;

$U_{\text{ВЫХ м}}$ – амплитудное значение неискаженного выходного напряжения.

Рассмотрим небольшой пример. Скорость нарастания ОУ μA741 равна 0.5 В/мкс.

Пусть необходимо определить, на какой максимальной частоте можно получить неискаженное выходное напряжение с амплитудами 10 В и 1 В. Используя вышеприведенное выражение, получим:

$$f_{\text{MAX}}(10 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 10 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} = 7961 \text{ Гц} \approx 8 \text{ кГц}$$

$$f_{\text{MAX}}(1 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 1 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} \approx 80 \text{ кГц}$$

Максимальная частота неискаженного сигнала для полного размаха выходного напряжения $\pm 13 \text{ В}$ (выход на полной мощности) равна:

$$f_{\text{MAX}}(13 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 13 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} \approx 6 \text{ кГц}.$$

Из рассмотренного примера следует, что чем больше амплитуда выходного напряжения, тем меньше максимальная частота неискаженного сигнала. При уменьшении амплитуды выходного напряжения частотный диапазон расширяется.

Кроме скорости нарастания, на верхний частотный диапазон накладывает ограничение малосигнальная характеристика ОУ. Наименьшее из этих двух значений определяет фактическую предельную верхнюю частоту. В общем случае СН есть ограничивающий частоту фактор на большом сигнале, а АЧХ ограничивает верхнюю частоту на малом сигнале.

3.7. Шумы ОУ

Шумы – это паразитные электрические сигналы, присутствующие на выходе усилителя. Частота напряжений шумов лежит в диапазоне от сотых и тысячных долей герца до нескольких мегагерц.

Внутренние шумы можно смоделировать источником напряжений шумов $E_{\text{ш}}$, являющимся внешним по отношению к идеальному ОУ, рис. 3.23.

В справочниках и спецификациях на ОУ напряжения шумов указываются в микровольтах (эффективное значение) для различных величин со-